Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferkrankheiten Würzburg

Direktor: Prof. Dr. R. Naujoks

FLUORIDWIRKUNG AUF DURCH INFRAROTFOTOGRAFIE SICHTBAR GEMACHTE SCHMELZDEFEKTE

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Wolf Altmann

aus München

Würzburg, den
30.Januar 1980

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferkrankheiten Würzburg

Direktor: Prof. Dr. R. Naujoks

FLUORIDWIRKUNG AUF DURCH INFRAROTFOTOGRAFIE SICHTBAR GEMACHTE SCHMELZDEFEKTE

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Wolf Altmann

aus München

Würzburg, den
30.Januar 1980

Referent :	Privatdozent Dr. W. Wiedemann
Korreferent :	Professor Dr. E. Witt
Dekan :	Professor Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung : 28. 02. 80

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

MEINER MUTTER GEWIDMET

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543527_0097

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. LITERATURÜBERSICHT	3
A. Historisches	3
1. Infrarotfotografie	3
2. Fluoridierung	4
B. Physik der Infrarotfotografie	5
C. Anwendungsbeispiele der Infrarotfotografie in der Medizin	10
D. Mineralisationsstörungen des Schmelzes und ihre möglichen Folgen	11
E. Wirkung der Fluoride	14
III. MATERIAL UND METHODIK	17
IV. ERGEBNISSE	20
A. Statistische Bewertung der Ergebnisse	28
B. Zusammenfassung der Ergebnisse	32
V. DISKUSSION	34
VI. ZUSAMMENFASSUNG	37
VII. LITERATURVERZEICHNIS	39

I. EINLEITUNG

Gemäß der Tatsache, daß die Zahnkaries bei über 99% der zivilisierten westlichen Bevölkerung verbreitet ist, bestehen seit langem intensive Bemühungen um eine rechtzeitige Kariesprophylaxe.

Seit MILLER's (39) Theorie aus dem Jahre 1889, der bereits damals die Karies als chemo-parasitären Prozeß bezeichnete, ist man sich darüber einig, daß die Struktur und die Mineralisation des Zahnschmelzes einen prädisponierenden Faktor bei der Kariesätiologie darstellen (WALKHOFF und HESS (53)). So gelang es EULER und MEYER (16) im Jahre 1927 nachzuweisen, daß eine Anhäufung von organischer Substanz im Schmelz einen Angriffspunkt für die Karies bietet. Von dort wird folglich die initiale Schmelzkaries ihren Ausgang nehmen. Sie zeigt dabei eine diffuse Entkalkung, die makroskopisch als kreidige Verfärbung, gekoppelt mit einem Verlust der natürlichen Schmelztransparenz, erscheint (sog. "white spot" (HEUSER u. SCHMIDT (26)) bzw. "subsurface caries" (SILVERSTONE u. DOGON (47)).

Es hat sich gezeigt, daß diese Frühläsionen durch rechtzeitige Prophylaxe nicht nur gestoppt, sondern auch zurückgebildet werden können (BACKER DIRKS (6)). Jedoch ist es nur ein kleiner Schritt von den sichtbaren Frühläsionen, die allein durch Präventivmaßnahmen zu beheben sind, bis hin zu solchen Defekten, die füllungstherapeutisch versorgt werden müssen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diesen Spielraum zu erweitern und die Möglichkeit der gezielten Prophylaxe bereits in einem Stadium beginnen zu lassen, in dem mit bloßem Auge noch keinerlei Schmelzveränderungen festzustellen sind. Dies soll mit Hilfe der Infrarotfotografie geschehen. Ihr entscheidender Vorteil liegt darin, daß die

infraroten Strahlen aufgrund ihrer größeren Wellenlänge die Fähigkeit der Transmission besitzen. Dabei wird ein Teil der Strahlung von einer Oberfläche absorbiert bzw. reflektiert, der andere Teil dringt ohne Frequenzänderung eine gewisse Strecke in die Tiefe des Gewebes vor, wodurch Strukturen unter der Oberfläche sichtbar gemacht werden können (WYSS (54)).

Mit einer Fluorid-Touchierung sollte getestet werden, inwieweit diese Prophylaxemethode, die bekanntlich zu einer verstärkten bzw. beschleunigten Remineralisation und einer Resistenzsteigerung des Zahnschmelzes gegenüber kariösen Noxen führt (JENKINS (28)), als Therapie auf solche " unsichtbaren " Frühläsionen angewendet werden kann.

II. LITERATURÜBERSICHT

A. Historisches

1. Infrarotfotografie

Im Jahre 1800 entdeckte W. HERSCHEL (25) bei Untersuchungen über die Energieverteilung im Sonnenspektrum die infrarote Strahlung. Er registrierte, daß ein geschwärztes Thermometer, welches von einem Sonnenspektrum beschienen wurde, auch jenseits des roten Endes stark erwärmt wurde. Dies war der Nachweis für die Existenz einer unsichtbaren Strahlung.

1835 zeigte AMPERE (3) die Wesensgleichheit zwischen Infrarotstrahlung und sichtbarem Licht auf, wobei es sich jeweils um elektromagnetische Wellen handelt.

VOGEL (51) veröffentlichte 1873 seine Entdeckung, daß bestimmte Farbstoffe, der fotografischen Brom-Silber-Schicht zugesetzt, diese für längere Wellenlängenbereiche, nämlich bis zu 500 nm, sensibilisieren.

ABNEY (1) gilt als der erste echte Infrarotfotograf, nachdem es ihm im Jahre 1880 gelungen war, die Empfindlichkeit von Kollodiumplatten bis auf über 1000 nm zu steigern.

In den folgenden Jahren war es möglich, die Qualität der infrarot-sensibilisierten Fotoschichten kontinuierlich zu verbessern, wobei vor allem KÖNIG (33) sowie ADAMS und HALLER (2) erwähnt werden müssen.

1925 entdeckte CLARKE (11) den Farbstoff Neocyanin, mit dem es gelang, die Sensibilität unter Beimengung von Ammoniak auf etwa 1100 nm auszudehnen. Seit dieser Zeit sind Infrarotfilme im Handel erhältlich (24) .

Die Sensibilitätsgrenze liegt heute bei ca. 1300 nm, da bisher keine Farbstoffe hergestellt werden konnten, die für höhere Wellenlängen empfindlich sind (FRIESER (19)).

Ebenfalls 1925 beobachteten LOEWY und DORNO (38), sowie vier Jahre später SONNE (49), daß kurzwellige Infrarotstrahlung die menschliche Haut bis zu einer Tiefe von ca. 3 cm durchdringen kann, während der langwellige Bereich von der Haut absorbiert wird. Dies wurde 1930 durch CARTWRIGHT (10) präzisiert, der zeigte, daß bei einer Strahlung mit 860 nm als Gipfelwert 14 % der Strahlen 5 mm tief in die menschliche Wange eindringen.

Im Jahre 1941 wurde in den USA der erste Infrarotfarbfilm (sog. "Falschfarbenfilm") auf den Markt gebracht. Er diente lange Zeit ausschließlich militärischen Zwecken (Enttarnung), ehe er ab 1952 auch für zivile Forschungszwecke erhältlich war (50).

In diese Zeit fallen die ersten Anwendungen der Infrarotfotografie in der Zahnheilkunde. DE MENT und CULBERTSON (13) untersuchten Zahnhartsubstanzen vitaler und extrahierter Zähne.

Heute liegen die Hauptanwendungsgebiete der Infrarotfotografie in forstwissenschaftlichen, medizinischen, kriminalistischen und astronomischen Bereichen sowie in der Entschlüsselung alter Kunstwerke.

2. Fluoridierung

Bereits 1874 wurde in der wissenschaftlichen zahnärztlichen Literatur erstmals von einer karieshemmenden Wirkung des Fluorids gesprochen. ERHARDT (15) beobachtete sie an Hand von Versuchen mit Fluoridtabletten.

1912 bzw. 1917 entdeckten HEAD (23) bzw. PICKERILL (44) die Möglichkeit der Remineralisation: Entkalkter Schmelz kann wiedererhärten! Nach Meinung der Autoren ist dies von der Beschaffenheit des Schmelzes und des Speichels abhängig, sowie vom Stadium der Entkalkung.

Andere Forscher hielten eine Reparatur der kreidigen Flecken für unmöglich, wie z. B. LEIMGRUBER (36).

Im Jahre 1927 bestätigten EULER und MEYER (16) die Theorie von HEAD (23) und PICKERILL (44): Je besser der Schmelz verkalkt ist, d.h. je weniger organische Substanz in ihm gehäuft auftritt, desto deutlicher ist die Kariesresistenz.

ARMSTRONG und BREKHUS (5) stellten 1937 fest, daß der Schmelz kariöser Zähne einen niedrigeren Fluoridgehalt aufweist als der gesunder. Außerdem bemerkten sie einen erhöhten Fluoridreichtum in den äußeren Schmelzschichten.

Ein weiterer, entscheidender Fortschritt bei der Kariesprophylaxe gelang durch die Anwendung organischer Fluoride bei der Touchierung. So beschrieb MÜHLEMANN (40) 1957 eine enorm erhöhte Widerstandsfähigkeit des Schmelzes gegenüber kariösen Noxen nach einer Aminfluorid-Touchierung, wie sie heute noch mit ELMEX Fluid durchgeführt wird und auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde.

B. Physik der Infrarotfotografie

Jede Strahlungsquelle sendet laufend elektromagnetische Wellen aus. Von der Wellenlänge ist die Bezeichnung der Strahlung abhängig. Das sichtbare Licht beispielsweise liegt im Bereich von 380 nm bis 760 nm (1 nm = 10^{-9}m). Daran schließt sich das Infrarot-Spektrum an. Es reicht

von etwa 760 nm bis 3000 nm (größere Wellenlängen bis 12 000 nm und länger sind erforscht, interessieren hier jedoch nicht) und ist definiert als das Gebiet des Sonnenspektrums oder einer sonstigen Strahlungsquelle, welches unmittelbar auf das äußerste sichtbare Rot folgt (WAGNER (52)). Diese Grenzen gehen allerdings fließend ineinander über und sind nicht so streng zu trennen.

SPITZING (50) unterteilt das Infrarot-Spektrum in verschiedene Oktaven: Von 780 nm bis 1500 nm das Gebiet der Rotlichtbestrahlung. Hierher gehört auch die Infrarotfotografie, die mit Wellenlängen von 680 nm bis 1250 nm bzw. 1350 nm arbeitet. Dann folgt der Abschnitt der Thermografie (1500 nm bis 12 000 nm) und ab 12 000 nm schließt sich ein nach oben unbegrenzter Bereich an, der momentan noch erforscht wird.

Infrarote Strahlen sind hauptsächlich als Wärme spürbar. So bezeichnete HERSCHEL (25) sie bei seiner Entdeckung im Jahre 1800 als "strahlende Hitze". Aber auch chemische Effekte lassen sich nachweisen, worauf die Möglichkeit der Infrarotfotografie beruht.

Den größten Energielieferanten für Infrarotstrahlung stellt die Sonne dar. 55% des Sonnenlichtes bestehen aus infraroten Strahlen, der Anteil des sichtbaren Lichtes beträgt 44%, das UV-Licht macht 1% aus (WAGNER (52)).

Kein Körper besitzt die Temperatur des absoluten Nullpunktes, da er ständig unter dem Einfluß von elektromagnetischer Strahlung steht. Somit sendet jeder Gegenstand Wärmestrahlen irgendeiner Wellenlänge aus, weil ein Teil der auftreffenden Energie absorbiert und in Wärme umgewandelt wird (WYSS (54)).

Auch der menschliche Körper bildet eine Infrarotwärmequelle. Allerdings liegt seine Strahlung im Bereich von 4000 nm bis 20 000 nm und kann somit nur mit Hilfe der Thermografie

aufgezeichnet werden (SOLF (48)), die ausschließlich die Infraroteigenstrahlung der Körper registriert und streng von der Infrarotfotografie getrennt werden muß, bei der auch andere Wellenlängen den Film schwärzen. Man benötigt dabei eine kräftige Bestrahlung des Objektes, wobei die Reflexion mit den Infrarotfilmen aufgezeichnet wird, während die Thermografie beispielsweise auch im Dunkeln angewendet werden kann (GIBSON (21)).

Die Eigenart der infraroten Strahlen liegt darin, daß sie aufgrund ihrer Langwelligkeit weniger gestreut werden als das sichtbare Licht (Prinzip von RAYLEIGH). Ein einfaches Beispiel liefert die blaue Farbe des Himmels: Blau liegt auf der kurzwelligen Seite des sichtbaren Spektrums und wird somit stark gestreut: Bei seinem Durchtritt durch die Atmosphäre stößt der blaue Anteil des Lichtstrahles, bedingt durch die hohe Frequenz, am häufigsten mit den Partikeln in der Luft zusammen. Bei den infraroten Strahlen ist genau das Gegenteil der Fall: Die langwellige Strahlung besitzt eine dunstdurchdringende Wirkung. Dabei ist allerdings noch nicht eindeutig geklärt, ob dies nur durch die geringere Streuung bedingt ist, oder ob es auch an den bestrahlten Partikeln liegt. Es wäre denkbar, daß diese im sichtbaren Bereich Strahlung absorbieren, die Absorption jedoch bei infraroten Wellenlängen aussetzt (SPITZING (50)).

Auf obigem Prinzip beruht die gesamte Anwendungsbreite der Infrarotfotografie: Die Kriminalistik verwendet sie, um Briefe durch den Umschlag lesbar zu machen, die Forstwirtschaft bedient sich ihrer, um krankes Laub von gesundem zu unterscheiden: Das Blattmesophyllgewebe, welches für die Remission von Infrarot verantwortlich ist, wird zuerst geschädigt. Es kommt zu einem Nachlassen des Zell-Turgors mit der Folge einer verringerten Infrarotremission. Ob jedoch Lauberkrankungen in einem Stadium sichtbar gemacht werden können, in dem mit bloßem Auge noch keinerlei Veränderungen zu sehen sind, ist zur Zeit noch umstritten

(HILDEBRANDT und KENNEWEG (27)).

Schließlich kann grüne Farbe (z.B. Tarnanstriche) von natürlichem Grün unterschieden werden. Deshalb bezeichnete man den Infrarotfilm im zweiten Weltkrieg auch als "Enttarnungsfilm" (8).

Alte Schriftstücke werden wieder leserlich, da Leder die Infrarotstrahlung reflektiert, während schwarze Tusche sie absorbiert (50).

Weitere Anwendungsgebiete ergeben sich beispielsweise bei Materialprüfungen, in der Paläontologie, der Meteorologie, in der Identifizierung von Gemälden sowie der Astronomie (52).

Auf die Infrarotfotografie in der Medizin wird in einem gesonderten Abschnitt hingewiesen.

Wie sind die Infrarotfilme nun aufgebaut? :
Herkömmliche Schwarzweißfilme besitzen eine Emulsionsschicht aus Silberhalogenidkristallen, die durch Belichtung teilweise reduziert werden (FRIESER (20)). Durch Photolyse entsteht ein latentes Bild des belichteten Filmes, welches bei der Entwicklung und Fixierung zum sichtbaren Bild wird, indem die Silberkomplexe festgehalten und die zurückgebliebenen Silberhalogenidkristalle entfernt werden.

Durch Zusatz geeigneter Sensibilisatoren gelang dies ABNEY (1) bis in das Gebiet der infraroten Strahlen.

Etwas komplizierter ist es beim Farbfilm: Der konventionelle Farbfilm besteht, im Gegensatz zum Schwarzweißfilm, aus drei Emulsionsschichten. Diese sind nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung aufgebaut und für die drei Spektralbereiche Blau, Grün und Rot sensibilisiert. Die Eigenfarbe der Schicht ist jeweils die Komplementärfarbe zu der Farbe, auf welche die Schicht empfindlich ist. So ist die Eigenfarbe der

blauempfindlichen Schicht gelb, die der grünempfindlichen fuchsinrot und die der rotempfindlichen grünblau (SPITZING (50)). In Abhängigkeit von der spektralen Zusammensetzung der bei der Belichtung angewendeten Strahlung kommt es zur Ausbildung eines entsprechenden Farbbildes (SOLF (48)).

Der Falschfarbenfilm gliedert sich heute ebenfalls in drei farbige Schichten, deren Sensibilisierung zwar um eine Farbstufe in den längerwelligen Bereich verschoben ist, deren Eigenfarbe jedoch beibehalten wurde. Somit sind die Emulsionen für Grün, Rot und Infrarot empfindlich. Sendet nun ein Objekt infrarote Strahlung aus, dann erscheint nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung in der für infrarot empfindlichen Schicht (Eigenfarbe grünblau) eine transparente Stelle, das Bild wird "herausgebleicht". Die Eigenfarben der beiden anderen Schichten, gelb und fuchsinrot, schimmern durch, und es kommt zu einer roten Wiedergabe der infraroten Strahlen. In Analogie hierzu erscheinen rote Objekte als grün und grüne als blau. Daher der Name "Falschfarbenfilm" (SPITZING (50)).

Schließlich soll noch auf einige Besonderheiten beim Umgang mit Infrarotfilmen hingewiesen werden: Der Unterschied zwischen einem konventionellen Film und einem Infrarotfilm ist, wie oben erläutert, rein formeller Natur. Aus diesem Grund lassen sich auch herkömmliche Kameras für diese Aufnahmetechnik verwenden. Allerdings sollte die Entfernungseinstellung geringfügig korrigiert werden. Der langwellige Spektralbereich wird weniger gebrochen und deshalb in einer längeren Brennweite fokussiert als das sichtbare Licht. Deshalb ist es ratsam, eine Entfernung, die kleiner als die tatsächliche Aufnahmeentfernung ist, einzustellen (BLITZ (8)). In der Regel ist dieser Unterschied aber allein schon durch die große Schärfentiefe bei der Wahl von Blende 22 auszugleichen (GIBSON (21)).

Infrarotfilme sind nur mit entsprechenden Filtern zu betrei-

ben, da sie sonst auf Grund ihrer Empfindlichkeit für das ganze sichtbare Spektrum Bilder wie ein herkömmlicher Film liefern würden (50). Bei Infrarotschwarzweißfilmen wird ein dunkles Rotfilter zur Ausschaltung der sichtbaren, bei Infrarotfarbfilmen ein mittleres Gelbfilter zur Auslöschung der blauen Strahlung empfohlen, um die bekannte Überempfindlichkeit der drei Emulsionsschichten für Blau zu egalisieren (8).

Bei der Wahl einer geeigneten Lichtquelle wird für wissenschaftliche Aufnahmen, insbesondere bei dem Infrarotfarbfilm, der Elektronenblitz vorgeschlagen. Er kommt der spektralen Zusammensetzung des Sonnenlichtes am nächsten. Wegen seiner Kühle und der kurzen Dauer des Lichtblitzes besitzt er diesem gegenüber sogar noch leichte Vorteile (32).

C. Anwendungsbeispiele der Infrarotfotografie in der Medizin

Seit Jahren spielt die Infrarotfotografie in der Medizin eine nicht unbedeutende Rolle.

Bereits Ende der 20er Jahre fiel LOEWY und DORNO (38) sowie SONNE (49) die Durchdringungsfähigkeit infraroter Strahlen im menschlichen Gewebe auf. Die durchschnittliche Penetrationstiefe der Strahlen für die Haut wird heute von GIBSON (21) mit ca. 3 mm angegeben.

DE MENT und CULBERTSON (13) führten die Infrarotfotografie in die Zahnheilkunde ein. Sie zeigten, daß frühkariös demineralisierter Schmelz heller als Dentin erscheint, gesunder Schmelz dagegen transparenter. Folglich hielten sie aufgehellte Tönungen auf der Zahnoberfläche für Stellen mit einem dünnen Schmelzüberzug. Außerdem wiesen sie auf

die Beschaffenheit der incisalen Kanten hin, die auf allen Fotos fast weiß erschienen.

HELWICH (24) untersuchte Zähne auf ihre Durchlässigkeit für infrarote Strahlen. Dabei konnte er auf eine Undurchlässigkeit von Füllungen und kariösen Stellen verweisen.

Häufige Anwendung findet die Infrarotfotografie in der Dermatologie. Stärker durchblutetes Gewebe läßt sich von minder durchblutetem unterscheiden, ebenso lassen sich subcutane Venenerweiterungen bei venösen Stauungszuständen nachweisen (KAPPERT (29)).

Größere submucöse Gefäße sind sichtbar zu machen, dies ist vor allem wichtig bei der Verfolgung des Krankheitsverlaufes von Erkrankungen, bei denen die Haut von einer undurchsichtigen Kruste bedeckt ist. Man spricht von einer Art "Röntgen-Effekt" (GIBSON (21)).

Auch in der Augenheilkunde bedient man sich der Infrarotfotografie, da sich z.B. der Augenhintergrund trotz einer getrübten Cornea darstellen läßt (WYSS (54)).

In der Inneren Medizin kann man die Infrarotfotografie zur Früherkennung und Lokalisation von Gefäßtumoren einsetzen. Ebenso bedient man sich ihrer Hilfe bei Herz- und Kreislauferkrankungen sowie beim Diabetes (reduzierte abdominale Venenzeichnung) (31).

D. Mineralisationsstörungen des Schmelzes und ihre möglichen Folgen

Der Zahnschmelz ist das härteste und wasserärmste Gewebe des menschlichen Körpers. Er besteht zu etwa 98% aus

anorganischer Substanz, vornehmlich Hydroxylapatit, nebst geringen Mengen von Fluorapatit, Kalziumkarbonat und -bikarbonat sowie Spuren von Natrium, Kalium und Magnesium. Die anorganische Substanz liegt in sog. Schmelzprismen vor. Diese sind voneinander durch die interprismatische Substanz getrennt, die zusammen mit den Schmelzbüscheln, den Schmelzlamellen und dem Schmelzoberhäutchen die 2% organische Substanz ausmacht (17).

Von LINDERER (37) wurden im Jahre 1837 die Schmelzbüschel entdeckt. 1936 definierten sie LEHNER und PLENK (35) als schwächer mineralisierte und organisch reichere Strukturen, die an der Schmelz-Dentin-Grenze beginnen und den Schmelz bis zu etwa einem Drittel seiner Dicke durchziehen. Es ist bis heute unklar, ob sie eine physiologische Aufgabe haben oder ob sie eine bloße Mineralisationsstörung ausdrücken.

Eine weitere schlecht mineralisierte Region des Schmelzes bilden die Schmelzlamellen, die in enger Beziehung zum Schmelzoberhäutchen stehen. Sie verlaufen vom Dentin aus radiär bis an die Schmelzoberfläche und gehen dort kontinuierlich in das Schmelzoberhäutchen über. Gelegentlich kann eine Lamelle auch mit anderen mangelhaft verkalkten Zonen im Schmelz, die quer durch das Gewebe ziehen, in Verbindung stehen (FISCHER (17)).

Die genannten Mineralisationsstörungen können als physiologisch bezeichnet werden, da man sie zur natürlichen Schmelzstruktur rechnet. Ihre Bedeutung liegt darin, daß sie Prädilektionsstellen für den kariösen Angriff bieten (WALKHOFF und HESS (53)): Die Karies beginnt dort, wo das Schmelzoberhäutchen weniger gut verkalkt oder mangelhaft angelegt ist. Nach HEUSER und SCHMIDT (26) dringt die Noxe dann auf dem Weg der interprismatischen Substanz, der Schmelzlamellen und der Schmelzbüschel in die Tiefe, um später das Dentin und die anorganischen Schmelzprismen zu zerstören. Durch diese teilweise Entkalkung wird der

Schmelz optisch inhomogen, wodurch die bekannten opaken Verfärbungen entstehen, welche die Initialkaries charakterisieren (sog. "white spot" bzw. "subsurface-caries" nach SILVERSTONE und DOGON (47)). Die Karies schreitet demnach auf dem Weg der minder verkalkten Schmelzregionen fort (EULER und MEYER (16)).

Von diesen physiologischen Mineralisationsstörungen müssen die pathologischen unterschieden werden.

Beispielsweise bezeichnet man unregelmäßig geformte, stark verzweigte und tief im Dentin wurzelnde Schmelzlamellen als pathologisch. Bei Mangelkrankheiten des Kalkhaushaltes, wie z.B. Rachitis oder Skorbut, findet man vermehrt Schmelzbüschel und -lamellen, die dann zum Wegbereiter der Karies werden. Ebenso können bei Anämien, Diabetes oder Vitamin-D--Mangel ursprünglich gut verkalkte Zähne vermehrt von Karies befallen werden, was ein Zeichen dafür ist, daß die Mineralisation der Zahnhartsubstanzen auch nach Fertigstellung des Zahnes bei Störungen des allgemeinen Körperstoffwechsels in Mitleidenschaft gezogen werden kann (17).

Daneben kennt man erbbedingte, sog. Schmelzdysplasien, sowie durch übermäßig hohe Fluoridgaben hervorgerufene Strukturfehler, die sich als weiße bis bräunliche Flecken darstellen (mottled enamel).

Unbekannt ist die Ursache der Schmelzopazitäten, die als weiße Flecken im Zahnschmelz erscheinen (KÜNZEL und TOMAN (34)).

Weitere Schmelzstörungen, wie z.B. Schmelzhypoplasien, Amelogenesis imperfecta oder TURNER-Zähne , sollen hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

E. Wirkung der Fluoride

Seit langem sind Bemühungen im Gang, durch eine geeignete Prophylaxe die kariöse Noxe wirkungsvoll zu bekämpfen.

Die einzige bekannte Maßnahme, mit der sich die Resistenz des Zahnschmelzes gegenüber der Karies steigern läßt, ist die Anwendung von Fluoriden, die sich in den oberflächlichen Schmelzschichten anreichern (34).

Diese Fluoride können dem menschlichen Körper auf verschiedene Arten zugeführt werden:
Einmal endogen, z.B. über das Trinkwasser (in den USA schon lange üblich, bei uns leider immer noch umstritten), wobei 1 mg Fluorid auf 1 Liter Wasser als die optimale Dosierung erscheint. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, Fluoride den Lebensmitteln, beispielsweise Milch oder Kochsalz, zuzusetzen. Die vielfach verbreiteten Fluorid-Tabletten wirken teils endogen, teils exogen (wenn sie langsam im Munde zergehen). Ebenso wirken die Fluorid-Zahncreme und die Fluorid--Touchierung auf exogenem Wege (NAUJOKS (42); PILZ, PLATHNER, TAATZ (45)). Letztere sollte nur in der zahnärztlichen Praxis durchgeführt werden.

Die Wirkung der Fluoride besteht darin, daß sie durch chemische Umbildung der Zahnhartsubstanzen den Schmelz widerstandsfähiger gegenüber der kariösen Demineralisation machen (34).

Im Speichel bewirken Fluoride einen erhöhten Zuckerumsatz der Mikroorganismen und gleichzeitig eine für die Remineralisation des Schmelzes günstigere Speichelzusammensetzung, während sie die Plaques in dem Sinne einer enzymhemmenden Wirkung auf die Säurebildner beeinflussen (BRAMSTEDT (9)).

Die Wirkung der Fluoride auf den Zahnschmelz soll an Hand

der Fluorid-Touchierung näher beschrieben werden:

Die Mineralsubstanz des Schmelzes besteht zu 90% aus Hydroxylapatit mit der chemischen Formel $Ca_5(PO_4)_3OH$. Auf Grund der hohen Affinität des Fluor-Ions zu den Apatitkristallen kann Fluorid in den Schmelz aufgenommen werden (BRAMSTEDT (9)).

Kommt nun Hydroxylapatit mit schwachen Fluoridlösungen (d.h. der Fluoridgehalt ist kleiner als 18 mg je Liter Lösung) in Berührung, so werden Fluor-Ionen gegen Hydroxyl-Ionen ausgetauscht, wie dies KNAPPWOST (30) bereits 1952 zeigte:

$$Ca_5(PO_4)_3OH + F^- \rightleftharpoons Ca_5(PO_4)_3F + OH^-$$

Die Wirkung höher konzentrierter Fluoridlösungen unterteilt sich nach MÜHLEMANN (40, 41) in eine Sofort- und eine Spätreaktion:

Bei der Sofortreaktion kommt es rasch zu einer Anätzung der sauberen, fettfreien Schmelzoberfläche, Apatit geht dabei in Lösung. Die hierbei freiwerdenden Ca-Ionen bilden mit dem oberflächlich angeätzten Schmelz einen CaF_2-Niederschlag:

$$Ca_5(PO_4)_3OH + 10\ F^- \rightleftharpoons 5\ CaF_2 + 3\ PO_4^{3-} + OH^-$$

Die CaF_2-Deckschicht ist instabil und kann ausgewaschen werden; bei günstigen physikalischen Verhältnissen, wie sie bei Verwendung von Aminfluoriden durch eine Filmbildung entstehen, kann sie liegenbleiben und nach und nach gewisse Fluoridmengen in geringer Konzentration an den darunterliegenden Schmelz abgeben. Nach dem Mechanismus der stark verdünnten Fluoridlösungen wird das Fluorid dann in das Apatitkristallgitter eingebaut.

Das entstehende Hydroxylfluorapatit verbessert die Prognose der Remineralisation des Schmelzes, von der man annimmt,

daß sie eine Restitution des kristallinen Gefüges der teilweise entkalkten Schmelzstruktur durch Einlagerung von Kalksalzen aus dem Speichel darstellt (ANDRESEN (4)).

Bei der Wechselbeziehung Speichel - Schmelzoberfläche entstehen bei Abwesenheit von Fluorid neben dem relativ langsam kristallisierenden Hydroxylapatit auch andere, schneller kristallisierende, aber leichter säurelösliche Calciumphosphate (RATHJE (22)).

Bei Gegenwart von Fluorid hingegen ist die Kristallisationsgeschwindigkeit des entstehenden Hydroxylfluorapatits höher als die der anderen Calciumphosphate; es werden nur noch wenige leicht lösliche Substanzen gebildet, was gleichbedeutend mit einer Resistenzsteigerung des Schmelzes gegenüber kariösen Noxen ist (46).

III. MATERIAL UND METHODIK

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu studieren, ob es möglich ist, mit Hilfe der Infrarotfotografie einmal einen entscheidenden Beitrag zur Frühdiagnostik der Karies zu leisten und zum anderen die Fluoridtherapie rechtzeitig gezielt einzusetzen.

Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Verwendet wurden die Umkehrfilme

Kodak Ektachrome Infrared Film IE 135 - 20
für Infrarot-Farbdias
Kodak High Speed Infrared Film HIE 135 - 20
für Infrarot-Schwarzweiß-Negative
Kodak Ektachrome - X Film Ex 135 - 36
für herkömmliche Farbdias

Die bei der Lagerung und Bearbeitung von Infrarotfilmmaterial vom Hersteller angegebenen Hinweise wurden genau eingehalten:

Die Filme wurden original verpackt im Kühlschrank aufbewahrt. Etwa zwei Stunden vor Gebrauch wurden sie herausgenommen und so der Raumtemperatur angepaßt. Anschließend wurden sie bei gedämpftem Licht in die Kamera eingelegt. Dabei war zu beachten, daß die Infrarotfilme nur möglichst kurze Zeit in der Kamera belassen werden sollten (43).

Zur Vermeidung von herstellungsbedingten Abweichungen bzw. Verschleierungen trugen alle Filme die gleiche Emulsionsnummer. Vor der ersten Aufnahme wurde fünfmal leergeschaltet.

Der belichtete Infrarotfarbfilm wurde nach Prozess E-4 entwickelt, der Infrarot-SW-Film in Kodak Dektol.

Die Aufnahmen wurden mit einer Kamera des Typs ROLLEI 35 S angefertigt.

Um für alle Fotos gleiche Bedingungen zu haben und um eine reproduzierbare Lage zu gewährleisten, war die Kamera an einem Metallgestell befestigt, woran auswechselbare Einbißschienen angeschraubt werden konnten.

Bei den Infrarotfarbfilmen wurde ein Kodak WRATTEN Filter Nr. 12 (mittleres Gelbfilter) vor der Kameralinse befestigt, bei Infrarot-SW-Filmen ein spezielles Infrarotfilter (WRATTEN Nr. 87).

Als Lichtquelle diente ein Elektronenblitzlichtgerät mit der Leitzahl 40.

In einem Vorversuch wurden zunächst der günstigste Abstand Blitz - Objekt, die Blendengröße sowie die Belichtungsdauer ermittelt. Als optimal erwiesen sich für den Lampenabstand 1 m, für die Blende Größe 22 und für die Belichtungsdauer $^1/_{30}$ Sekunde.

An 10 Probanden wurde der Unterschied zwischen Infrarot-SW--Filmen und Infrarotfarbfilmen getestet. Bei den SW-Filmen ergaben sich die erwarteten Unschärfen auf Grund ihres schwachen Auflösungsvermögens (CRUISE und NEWMAN (12)), so daß die folgenden Untersuchungen ausnahmslos mit Farbfilmen durchgeführt wurden:

Zunächst wurden die Frontzähne von 20 Probanden mit Infrarotfarbfilm und panchromatischem Diafilm fotografiert. Dabei beschränkte sich die Untersuchung auf die Zähne 3 bis 3 im Ober- und Unterkiefer, die mit dieser Versuchsanordnung am besten überprüft werden konnten, da sie alle etwa den gleichen Abstand von der Kameralinse hatten.

Dann wurden die 5 Probanden, bei denen Schmelzopazitäten

auf dem Infrarotfilm zu sehen waren, die mit denen auf dem Diafilm nicht identisch waren, d.h. die dort entweder kleiner bzw. schwächer oder gar nicht sichtbar waren, erneut mehrmals mit dem Falschfarbenfilm fotografiert, wobei das Elektronenblitzlichtgerät jeweils unterschiedlich postiert wurde, um Lichtreflexe auszuschalten.

Nachdem alle Flecken erneut am gleichen Ort und in gleicher Intensität sichtbar waren, wurde bei den Probanden eine Fluorid-Touchierung mit ELMEX FLUID durchgeführt (Zusammensetzung: 12,14% N,N,N`- tris -(2-hydroxyaethyl)-N`-octadecyl--1,3-diamino-propan-dihydrofluorid, 1,13% 1-Amino-9-octadecen-hydrofluorid, durch eine Trägersubstanz auf 100% ergänzt).

Um eine entsprechende Tiefenwirkung zu erzielen, mußte das Fluoridpräparat 30 min. lang einwirken. (Bereits nach 20 min. beträgt die Eindringtiefe mehrere hundertstel mm (45).)

Nach acht Tagen wurden die Probanden wieder mit Infrarotfilm fotografiert, anschließend wurde das Fotomaterial ausgewertet.

IV. ERGEBNISSE

Bei der Auswertung der Fotografien wurde zunächst Wert darauf gelegt, etwas über die Häufigkeit des Auftretens von Mineralisationsstörungen zu erfahren:

Es wurden die Frontzähne von 20 Probanden sowohl mit panchromatischem Diafilm, als auch mit Infrarotfarbfilm fotografiert.

Bei 7 Probanden waren sichtbare Störungen vorhanden, davon differierten bei 5 Probanden die Ausmaße dieser Störungen mit denen auf dem Infrarotfilm.

Auf die Zähne bezogen läßt sich folgendes erkennen:

Tabelle 1: Anteil der mineralisationsgestörten Zähne.

untersuchte Zähne	davon sichtbare Mineralisat.stör.	auf IR-Film sichtbare Mineralisat.stör.
20 x 12 = = 240	12 ≙ 5,00 %	18 ≙ 7,50 %

Da manche Zähne mehrere Schmelzflecken aufwiesen, wurde der prozentuale Anteil der Fläche aller Mineralisationsstörungen an der Gesamtfläche der betroffenen 15 Zähne ermittelt. Dies geschah mit Hilfe der Planimetrie:

Die Dias wurden mit einem Projektor auf Millimeterpapier projiziert. Darauf wurde zunächst die Zahnfläche ausgezählt, anschließend die Fläche der Mineralisationsstörungen.

Die 3 Zähne der beiden Probanden, bei denen auf dem Infra-

rotfilm kein Unterschied zu dem herkömmlichen Diafilm festgestellt werden konnte, wurden in den folgenden Überlegungen außer acht gelassen, da in der vorliegenden Arbeit nur die durch Infrarotfilm sichtbar gemachten Schmelzdefekte näher untersucht werden sollten.

Bei den 5 Probanden wurde insgesamt folgende Diskrepanz ermittelt:

Tabelle 2: Vergleich zwischen den Flächen der sichtbaren Defekte und denen, die durch IR-Film dargestellt wurden.

Gesamtfläche der 15 Zähne (mm^2)	sichtbare Defekte (mm^2)	Defekte auf IR-Film (mm^2)	Diskrepanz
42 230	1583 ≙ 3,75 %	2901 ≙ 6,87 %	83,20 %

Die Gesamtfläche der Defekte ist auf dem Infrarotfilm um 83,20 % größer als auf dem herkömmlichen Film.

Tabelle 3: Unterschiedl. Anzahl d. Schmelzstör. je Proband.

Proband	sichtbare Defekte (%)	Defekte auf IR-Film (%)	Anzahl der betroff. Zähne
1	7,81	10,88	5
2	3,26	4,85	4
3	2,16	5,26	2
4	1,05	1,95	3
5	0,00	16,66	1

Wie sich die Störungen auf dem Infrarotfilm prozentual zusammensetzen gibt folgende Tabelle wieder:

Tabelle 4: Zusammensetzung der Schmelzdefekte auf dem IR-Film.

Proband	sichtbare Defekte (%)	"unsichtbare" Defekte (%)	Summe (%)
1	5,58	5,30	10,88
2	3,57	1,28	4,85
3	2,18	3,08	5,26
4	1,21	0,74	1,95
5	0,00	16,66	16,66

Die 15 Zähne wurden mit ELMEX FLUID nach gründlicher Entfettung und Trockenlegung touchiert und eine Woche später erneut fotografiert. Die Auswertung erfolgte wieder durch Planimetrie:

Tabelle 5: Rückgang der durch IR-Fotografie dargestellten Schmelzdefekte nach der Fluorid-Touchierung.

(1) Gesamtfläche der 15 Zähne (mm^2)	(2) Defekte vor der Fl.-Touch. (mm^2)	(3) Defekte nach der Fl.-Touch. (mm^2)	(4) Diskrepanz $\left[\left(1-\frac{(3)}{(2)}\right)\cdot 100\right]$
42 230	2901 $\hat{=}$ 6,87 %	1883 $\hat{=}$ 4,46 %	35,08 %

Die Gesamtfläche der Schmelzdefekte ist um 35,08 % kleiner geworden.

Tabelle 6: Rückgang der Defekte bei den einzelnen Probanden.

Proband	Defekte vor der Fl.-Touch. (%)	Defekte nach der Fl.-Touch. (%)	Anzahl der betroff. Zähne
1	10,88	7,92	5
2	4,85	4,39	4
3	5,26	3,89	2
4	1,95	1,03	3
5	16,66	0,00	1

Über die Zusammensetzung der verkleinerten Flecken gibt Tabelle 7 Auskunft:

Tabelle 7: Zusammensetzung der Schmelzdefekte nach der Fluorid-Touchierung.

Proband	sichtbare Defekte (%)	"unsichtbare" Defekte (%)	Summe (%)
1	6,58	1,34	7,92
2	3,47	0,92	4,39
3	2,12	1,77	3,89
4	0,49	0,54	1,03
5	0,00	0,00	0,00

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Gleichgewichtsverschiebungen zwischen sichtbaren und "unsichtbaren" Defekten innerhalb einer Schmelzstörung nach der Fluorid--Touchierung:

Tabelle 8: Prozentualer Rückgang der sichtbaren und "unsichtbaren" Defekte.
(Vergleich zwischen Tabelle 4 und 7).

Proband	sichtbare Defekte (%-Anteil an der Stör.)		"unsichtbare"Defekte (%-Anteil an der Stör.)	
	vor der Fl.-Touch.	nach der Fl.-Touch.	vor der Fl.-Touch.	nach der Fl.-Touch.
1	51,29	83,08	48,71	16,92
2	73,60	79,04	26,40	20,96
3	41,44	54,50	58,56	45,50
4	62,05	47,57	37,95	52,43
5	0,00	0,00	16,66	0,00

Die durch die Fluorid-Touchierung bewirkte Verkleinerung der Schmelzdefekte war demnach bei den "unsichtbaren" Störungen eindeutig stärker als bei den schon mit bloßem Auge sichtbaren Defekten, wobei der Therapieerfolg je nach Proband zwischen 9,48 % und 100 % lag, wie Tabelle 9 es ausdrückt:

Tabelle 9: Rückgang der Störungen insgesamt.

Proband	(1) Defekte vor der Fl.-Touch. (%)	(2) Defekte nach der Fl.-Touch. (%)	(3) Rückgang (%) $\left[\left(1-\frac{(2)}{(1)}\right)\cdot 100\right]$
1	10,88	7,92	27,20
2	4,85	4,39	9,48
3	5,26	3,89	26,05
4	1,95	1,03	47,18
5	16,66	0,00	100,00

In Tabelle 10 sind in einem großen Überblick die Ergebnisse für jeden einzelnen Zahn zusammengestellt.

Tabelle 10:

Proband	Zahn (lfd.Nr.)	sichtbare Defekte (%)	"unsichtbare" Defekte (%) vor der Fl.-Touch.	"unsichtbare" Defekte (%) nach der Fl.-Touch.
1	11 (1)	6,15	10,00	4,85
	12 (2)	1,42	1,37	1,06
	13 (3)	34,48	35,39	30,00
	21 (4)	4,72	6,41	6,17
	22 (5)	1,20	7,67	5,58
2	11 (6)	0,00	4,00	3,05
	13 (7)	0,22	0,61	0,47
	21 (8)	1,38	1,44	1,44
	22 (9)	13,66	14,71	14,37
3	12 (10)	3,04	8,01	6,01
	41 (11)	0,71	0,57	0,53
4	11 (12)	0,00	0,77	0,35
	12 (13)	3,92	4,58	1,91
	22 (14)	0,00	1,43	1,43
5	12 (15)	0,00	16,66	0,00

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen den Therapieerfolg am Beispiel von Proband 5 (Zahn 12) :

Abbildung 1: Panchromatisches Dia vor der Fluorid--Touchierung.

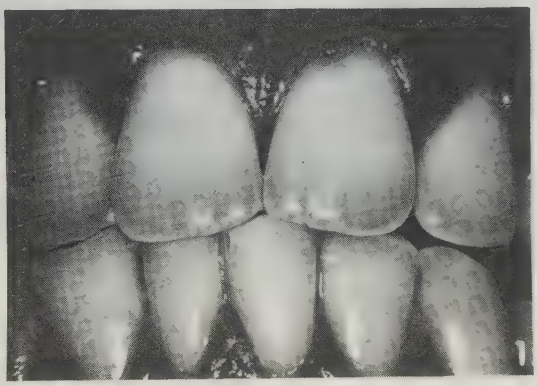

Abbildung 2: Infrarot-Dia vor der Fluorid-Touchierung.

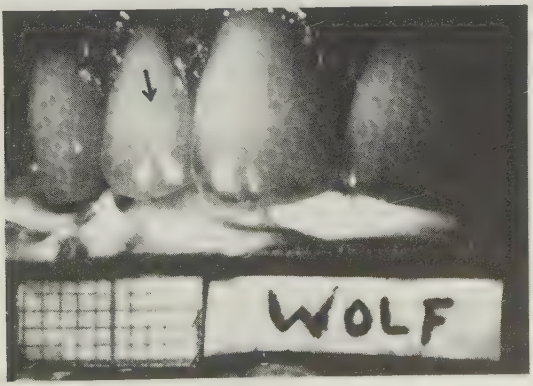

Abbildung 3: Infrarot-Dia nach der Fluorid-Touchierung.

A. Statistische Bewertung der Ergebnisse

Im folgenden soll überprüft werden, ob die Verkleinerung der Schmelzdefekte durch die Fluorid-Touchierung statistisch signifikant ist. Dabei liegen der statistischen Auswertung der Ergebnisse folgende Formeln zugrunde (18):

Standardabweichung s (mittlere quadratische Abweichung):

$$s = \sqrt{\frac{S\,(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{S_x}{n - 1}}$$

wobei $S_x = S\,(x - \bar{x})^2$
die Summe der Quadrate aller Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert bedeutet.

Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ (mittlerer Fehler):

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Signifikanz t des Vergleichs zweier Mittelwerte bei paarweiser Anordnung der Meßwerte (Paardifferenz):

$$t = \frac{\bar{x}}{s_{\bar{x}}}$$

Dabei bedeuten :

n = Anzahl der Zähne (Tabelle 11) bzw. der Probanden (Tabelle 12).

x = ermittelter Einzelwert der jeweiligen Paardifferenz (in %).

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert

S = Summe von

s = Standardabweichung

$s_{\bar{x}}$ = Standardabweichung des Mittelwertes

t = Maß für die Signifikanz

Folgende Versuchsergebnisse wurden zur Berechnung herangezogen:

Tabelle 11: Bestimmung der Paardifferenzen bezüglich der untersuchten Zähne.

Zahn (lfd.Nr.)	(1) Defekte auf IR-Film vor der Fl.-Touch. (%)	(2) Defekte auf IR-Film nach der Fl.-Touch. (%)	(3) Paar--differenz x (1) - (2)
1	10,00	4,85	5,15
2	1,37	1,06	0,31
3	35,39	30,00	5,39
4	6,41	6,17	0,24
5	7,67	5,58	2,09
6	4,00	3,05	0,95
7	0,61	0,47	0,14
8	1,44	1,44	0,00
9	14,71	14,37	0,34
10	8,01	6,01	2,00
11	0,57	0,53	0,04
12	0,77	0,35	0,42
13	4,58	1,91	2,67
14	1,43	1,43	0,00
15	16,66	0,00	16,66

Daraus folgt :

$n = 15$; $S_x = 36,40$;

$S_x^2 = 349,99$; $\bar{x} = 2,43$;

$s = 4,32$; $s_{\bar{x}} = 1,115$;

Somit ergibt sich für die Signifikanz t :

$t = 2,179$ und $1,25\ \% < p < 2,5\ \%$.

Nach den Signifikanzschranken der Student-Verteilung (14) liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit p damit zwischen 1,25% und 2,5%, das Ergebnis ist statistisch signifikant.

Tabelle 12: Bestimmung der Paardifferenzen bezüglich der einzelnen Probanden.

Proband	(1) Defekte auf IR-Film vor der Fl.-Touch. (%)	(2) Defekte auf IR-Film nach der Fl.-Touch. (%)	(3) Paar--differenz x (1) - (2)
1	10,88	7,92	2,96
2	4,85	4,39	0,46
3	5,26	3,89	1,37
4	1,95	1,03	0,92
5	16,66	0,00	16,66

Daraus folgt :

$n = 5$; $S_x = 22,37$;

$S_x^2 = 289,25$; $\bar{x} = 4,47$;

$s = 6,88$; $s_{\bar{x}} = 3,075$;

Für die Signifikanz t gilt :

$t = 1,457$ und $10\% < p < 15\%$.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt zwischen 10% und 15%, das Ergebnis ist nicht signifikant.

B. Zusammenfassung der Ergebnisse

An 20 Personen wurden jeweils die 12 Frontzähne des Ober- und Unterkiefers auf Mineralisationsstörungen hin untersucht.

Von diesen 240 Zähnen zeigten 5 % sichtbare Störungen, 7,50 % hingegen ließen auf dem Infrarotfilm Defekte erkennen.

Somit lassen sich mit Hilfe der Infrarotfotografie unter der Oberfläche gelegene Schmelzstörungen sichtbar machen. Dies wird zusätzlich durch die Tatsache bestätigt, daß die Gesamtfläche der Defekte auf dem Infrarotfilm um 83,20 % größer war als auf dem herkömmlichen Film.

Durch eine anschließende Fluorid-Touchierung konnten die Ausmaße der Schmelzflecken um insgesamt 35,08 % zurück-

gedrängt werden. Dabei war bei den unsichtbaren Störungen ein weitaus stärkerer Rückgang festzustellen als bei den mit bloßem Auge sichtbaren.

V. DISKUSSION

Es ist seit langem bekannt, daß Schmelzdefekte in Form von Mineralisationsstörungen Prädilektionsstellen für kariöse Noxen darstellen (EULER und MEYER 1927, (16)).

Ebenso weiß man über die Wirksamkeit lokaler Fluorid-Applikationen als Prophylaxemethode gegen diese Noxen (BIBBY 1942, (7)).

Eine Schwierigkeit liegt darin, die Fluoride rechtzeitig gezielt einzusetzen, da der Zeitraum zwischen Läsionen, die noch durch Präventivmaßnahmen zu beheben sind und solchen, die nur durch eine füllungstherapeutische Behandlung gestoppt werden können, ziemlich kurz ist.

In dieser Arbeit sollte unter anderem geprüft werden, ob es möglich ist, dieses Übergangsstadium mittels Infrarotfotografie zu verbreitern.

Die Ergebnisse des voranstehenden Teils lassen erkennen, daß es auf Grund der Durchdringungsfähigkeit menschlichen Gewebes, wie sie LOEWY und DORNO (38) sowie SONNE (49) Ende der 20er Jahre zum erstenmal für Infrarot beschrieben haben, gelingt, Schmelzflecken zu erkennen, die für das menschliche Auge noch unsichtbar sind.

Allerdings blieb ungeklärt, um welche Art von Schmelzflecken es sich handelte, da der Versuch an vitalen Zähnen durchgeführt wurde und somit keine histologische Untersuchung möglich war. Es erscheint jedoch wahrscheinlich, daß es sich dabei um reversible Störungen handelte, da nach der Touchierung mit Fluorid eine Verkleinerung der Flecken zu beobachten war.

Artefizielle Lichtreflexe, Wasserflecken oder Speichel

können von vorneherein ausgeschlossen werden, da die Objekte unter verschiedenen Bedingungen registriert wurden und auch alle reproduzierbar waren.

Wenig wahrscheinlich ist es auch, daß es sich um Orte physiologisch schwächer mineralisierter Schmelzstrukturen, also etwa Schmelzbüschel oder Schmelzlamellen handelte, da die Ausdehnung der Flecken dafür zu groß und unregelmäßig war.

Die Tatsache, daß die Flecken auch am Rande älterer Füllungen lokalisiert waren, scheint zu bestätigen, daß pathologische Mineralisationsstörungen, bedingt durch kariogene Einflüsse, vorlagen.

Wie die unsichtbaren Flecken mit den sichtbaren in Zusammenhang standen, konnte ebenfalls nicht eindeutig entschieden werden. Das Ergebnis, daß die unsichtbaren Störungen durch die Fluorid-Touchierung stärker zurückgingen als die sichtbaren, kann bedeuten, daß hier die Demineralisation noch nicht so stark fortgeschritten war. Andererseits kann es aber auch darauf hinweisen, daß die Flecken sich doch in irgendeiner Weise voneinander unterschieden. Eventuell handelte es sich in den Fällen, bei denen sich die Flecken kaum oder gar nicht zurückbildeten, um Schmelzopazitäten, deren Ursache unbekannt ist (34).

Da alle Verarbeitungshinweise des Infrarotfilmmaterials genau eingehalten wurden, sollten Fehlerquellen auf diesem Gebiet an sich ausgeschlossen werden können.

Ginge man also davon aus, daß es sich bei den Störungen um pathologische Schmelzdefekte im Sinne einer "subsurface--caries" (47) handelte, die durch eine Fluoridierung remineralisiert werden konnten, so würde dieser Befund das diagnostische Spektrum nicht unbedeutend erweitern. Außerdem scheint damit die Möglichkeit gegeben, prophylaktische Maßnahmen, wie z.B. eine Fluorid-Touchierung, gezielter

und intensiver anwenden zu können.

Es ist im Moment schwierig, die Bedeutung der Infrarotfotografie als wirkliche Hilfe bei der zahnmedizinischen Diagnose bzw. Therapie richtig einzuschätzen, da dieses Gebiet noch ziemlich in den Anfängen steckt. Sollte diese Methode jedoch einmal routinemäßige Anwendung finden, so ist immer zu berücksichtigen, daß sich ihre Möglichkeiten wohl auf den fotografierbaren Zahnbereich, also insbesondere die Labial- und eventuell die Approximalflächen der Frontzähne, beschränken. Somit käme diese Technik funktionellen und ästhetischen Gesichtspunkten gleichermaßen zugute.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob mit Hilfe der Infrarotfarbfotografie unsichtbare Schmelzdefekte sichtbar gemacht werden können und wie diese Flecken auf eine Fluorid-Touchierung reagieren.

Es wurden die Frontzähne von 20 Probanden mit herkömmlichem Diafarbfilm und Infrarotfarbfilm fotografiert. Dabei konnten bei 5 Probanden an insgesamt 15 Zähnen voneinander abweichende Schmelzstörungen festgestellt werden. Auf den Infrarotbildern war die Gesamtfläche der Defekte um über 83 % größer als auf dem panchromatischen Film.

Nachdem die betreffenden Zähne mit einer aminfluoridhaltigen Lösung touchiert worden waren, wurden sie 8 Tage später erneut auf einen Infrarotfarbfilm aufgenommen.

Es ergab sich, daß das Ausmaß der Flecken um ca. 35 % zurückgegangen war, wobei sich die unsichtbaren Flecken wesentlich stärker verkleinert hatten als die Störungen, die ursprünglich schon mit bloßem Auge gesehen werden konnten.

Die Verkleinerung der Schmelzflecken an den 15 Zähnen stellte sich dabei als statistisch signifikant heraus.

Die Untersuchungsergebnisse lassen vermuten, daß die Infrarotfotografie in der Lage ist, in der Zahnheilkunde als Prophylaxe- bzw. Diagnosehilfe von reversiblen Schmelzdefekten eine nicht unbedeutende Rolle zu spielen.

Herrn Privatdozent Dr. med. dent. W. WIEDEMANN darf ich für die freundliche Überlassung des Themas und seine wertvollen Hinweise bei der Ausarbeitung der Arbeit herzlich danken.

Herrn Professor Dr. med. dent. E. WITT spreche ich meinen Dank aus für die Übernahme des Korreferats.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1) ABNEY, Captain W. de V.:
zitiert aus Spitzing, G.:
Grenzbereiche der Fotografie.
Heering-Verlag, Seebruck a. Chiemsee, 1968

2) ADAMS und HALLER :
zitiert aus Helwich, O.:
Die Infrarot-Fotografie und ihre Anwendungsgebiete.
Dr. Walter Heering-Verlag, Harzburg, 2.Aufl., 1937

3) AMPÈRE :
zitiert aus Wagner, G.:
Infrarot-Fotografie. Der Weg ins Unsichtbare.
Verlag Schöne Bücher, Stuttgart, 1965

4) ANDRESEN, V.:
Über die Mineralisation und Remineralisation
des Zahnschmelzes.
Dtsch. Mschr. f. Zahnheilk., 39. Jahrgang, S.97, 1921

5) ARMSTRONG, W.D. and P.J. BREKHUS :
Chemical constituents of enamel and dentin.
J. Biol. Chem. 120, 676 - 678,(1937)

6) BACKER DIRKS, O.:
Posteruptive Changes in Dental Enamel.
J. dent. Res. 45, 503;(1966)

7) BIBBY, B.G.:
The effect of sodium fluoride applications
on dental caries.
J. dent. Res. 22, 207 (1942)

8) BLITZ, G.:
Retina Reflex.
Verlag Schöne Bücher, Stuttgart, 1.Aufl., 1965

9) BRAMSTEDT, F.:
Der Wirkungsmechanismus der Fluoride als karieshemmende Substanzen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 23, 111 (1968)

10) CARTWRIGHT, H.C.:
Infrared transmission of the flesh.
J. Optic. Soc. Amer. 20, 81 (1930)

11) CLARKE, H.J.:
zitiert aus Helwich, O.:
Die Infrarot-Fotografie und ihre Anwendungsgebiete.
Dr. Walter Heering-Verlag, Harzburg, 2.Aufl., 1937

12) CRUISE, J. and A. NEWMAN :
Photographic techniques in scientific research.
Vol. 1, Acad. Pr. London, New York, 1973

13) DE MENT, J. and R. CULBERTSON :
Comparative photography in dental science.
Dent. Radiogr. Photogr. 24, 28 (1951)

14) Documenta Geigy:
Wissenschaftliche Tabellen.
7. Aufl. Geigy, Basel, 1968

15) ERHARDT, B.:
Memorabilien.
H 8, 359 Heilbronn, 1874

16) EULER, H. und W. MEYER :
Pathohistologie der Zähne.
J.F. Bergmann Verlag, München, 1927

17) FISCHER, G.:
Normale und pathologische Biologie des Zahnsystems.
Erich Schmidt Verlag, Berlin, Bielefeld, München, 1955

18) FRANKE, H.:
Manuskript und Vortrag. Stilfibel für Mediziner.
Georg Thieme-Verlag, Stuttgart, 1967

19) FRIESER, H.:
Grenzen und Möglichkeiten der Fotografie.
Festvortrag Dtsch. Ges. für Photographie,
Köln, 1967

20) FRIESER, H.:
Photographische Informationsaufzeichnung.
München, Wien, 1975

21) GIBSON, H.I.:
"Infrared Recording" in
Engel, C. (ed) :
Photography for the Scientist
pp. 299 - 362.
Acad. Pr. London, New York, 4.Aufl., 1973

22) GIESECKE, F. und W. RATHJE :
Hydroxylfluorapatit, das Mineral der Rohphosphate.
Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 349 (1941)

23) HEAD :
zitiert aus Andresen, V.:
Über die Mineralisation und Remineralisation
des Zahnschmelzes.
Dtsch. Mschr. f. Zahnheilk., 39. Jahrgang, S.97, 1921

24) HELWICH, O.:
Die Infrarot-Fotografie und ihre Anwendungsgebiete.
Dr. Walter Heering-Verlag, Harzburg, 2.Aufl., 1937

25) HERSCHEL, W.:
zitiert aus Spitzing, G.:
Grenzbereiche der Fotografie.
Heering-Verlag, Seebruck a. Chiemsee, 1968

26) HEUSER, H. und H.F.M. SCHMIDT :
Untersuchungen über die verschiedene Widerstandsfähigkeit der einzelnen mikroskopischen Strukturbestandteile des menschlichen Zahnschmelzes gegenüber Säuren.
Stoma, 15. Jahrgang, S. 1 ff., 1962

27) HILDEBRANDT, G. und H. KENNEWEG :
Einige Anwendungsmöglichkeiten der Falschfarben-fotografie im forstlichen Luftbildwesen.
Allg. Forst- u. Jagdztg. 139, 205 - 312.

28) JENKINS, G.N.:
The mechanisms of action of fluoride in reducing dental incidence.
Fluoride Quart. Rep. 2, 236 (1969)

29) KAPPERT, A.:
Lehrbuch und Atlas der Angiologie.
Bern, 5.Aufl., 1970

30) KNAPPWOST, A.:
Zur Kenntnis der lokalen Fluoridierung durch Fluoride, Fluorsilikate und fluorierte Zahnpasten.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 681 (1952)

31) Kodak Publication No. N - 1
Medical Infrared Photography.
Eastman Kodak Company, Rochester, New York, 1973

32) Kodak Publication No. M -28
Applied Infrared Photography.
Eastman Kodak Company, Rochester, New York, 1977

33) KÖNIG :
zitiert aus Helwich, O.:
Die Infrarot-Fotografie und ihre Anwendungsgebiete.
Dr. Walter Heering-Verlag, Harzburg, 2.Aufl., 1937

34) KÜNZEL, W. und J. TOMAN :
Kinderstomatologie.
VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1974

35) LEHNER, J. und H. PLENK :
Die Zähne.
v. Möllendorf`s Handb. d. mikrosk. Anat. d. Menschen.
Bd. 5_3 , 449, Berlin, 1936

36) LEIMGRUBER, C.:
Kariesprophylaxe, Ziel und Möglichkeiten.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 55, 1003 (1945)

37) LINDERER :
zitiert aus Fischer, G.:
Normale und pathologische Biologie des Zahnsystems.
Erich Schmidt Verlag, Berlin, Bielefeld, München, 1955

38) LOEWY, A. und C. DORNO :
Über Haut- und Körpertemperaturen und ihre
Beeinflussung durch physikalische Reize.
Strahlentherapie 20, 411 (1925)

39) MILLER, W.D.:
Mikroorganismen der Mundhöhle.
Thieme-Verlag, Leipzig, 1892

40) MÜHLEMANN, H.R.:
Die kariesprophylaktische Wirkung der Aminfluoride.
Quintess. zahnärztl. Lit., Referat 3192 (1967)

41) MÜHLEMANN, H.R., K. ROSSINSKY und A. SCHAIT :
Physikalisches, chemisches und mikromorphologisches Verhalten von Schmelz nach Behandlung mit anorganischen und Aminfluoriden.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 77, 230 (1967)

42) NAUJOKS, R.:
Kariesreduktion durch Fluoride.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 23, 135 (1968)

43) ORBACH, H.:
Medizinische Fotografie und Kinematografie.
Thieme-Verlag, Stuttgart, 71 / VI

44) PICKERILL, H.P.:
zitiert aus Andresen, V.:
Über die Mineralisation und Remineralisation des Zahnschmelzes.
Dtsch. Mschr. f. Zahnheilk., 39. Jahrgang, S.97, 1921

45) PILZ, W., C.H. PLATHNER und H. TAATZ :
Grundlagen der Kariologie und Endodontie.
Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2.Aufl., 1975

46) ROTHE, T.:
Die Erhöhung der Kristallisationsgeschwindigkeit des Apatits im Zahnschmelz durch Fluorid: Beitrag zum Problem der Kariesprophylaxe durch Fluoridmedikation.
Dissertation Berlin, 1976

47) SILVERSTONE, L.M. and J.L. DOGON :
The Acid Etch Technique.
North Central Pub. Co., St. Paul, Minnesota, 1975

48) SOLF, K.D.:
Fotografie - Grundlagen, Technik, Praxis.
Fischer Taschenbuch-Verlag, Frankfurt a. M., 2.Aufl., 1973

49) SONNE, C.:
Investigations on the actions of luminous rays and their mode of action.
Arch. Phys. Therapy, X - Ray, Radium 10, 93 (1929)

50) SPITZING, G.:
Grenzbereiche der Fotografie.
Heering-Verlag, Seebruck a. Chiemsee, 1968

51) VOGEL, H.W.:
zitiert aus Spitzing, G.:
Grenzbereiche der Fotografie.
Heering-Verlag, Seebruck a. Chiemsee, 1968

52) WAGNER, G.:
Infrarot-Fotografie. Der Weg ins Unsichtbare.
Verlag Schöne Bücher, Stuttgart, 1965

53) WALKHOFF, O. und W. HESS :
Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.
Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 6.Aufl., 1960

54) WYSS, P.:
Infrarot-Fotografie oraler Hart- und Weichgewebe.
Dissertation Zürich, 1973

LEBENSLAUF

Am 22.Juli 1954 wurde ich, Wolf Dietrich Altmann, als zweites Kind des selbständigen Kaufmannes Walter Altmann und seiner Ehefrau Inga, geb. Hollaender, in München geboren.

Im Frühjahr 1955 kam ich mit meinen Eltern nach Nürnberg, wo ich im Herbst 1960 in die Volksschule eintrat.

Nach der Scheidung meiner Eltern zog ich mit meiner Mutter und meiner Schwester im Frühjahr 1961 nach Würzburg. Dort besuchte ich noch bis 1964 die Volksschule, ehe ich in das Röntgen-Gymnasium überwechselte und hier am 22.Juni 1974 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1974/75 begann ich an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg mit dem Studium der Zahnmedizin. Die naturwissenschaftliche Vorprüfung bestand ich im Oktober 1975, die zahnärztliche Vorprüfung im April 1977.

Am 20.Dezember 1979 beendete ich das Studium mit dem Staatsexamen.

Wolf Altmann

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80